

PENGISIAN AIR DAN NUTRISI OTOMATIS PADA RESERVOIR HIDROPONIK KRATKY UNTUK BUDIDAYA PAKCOY (*Brassica rapa subsp chinensis*)

Automated Water and Nutrient Filling for the Reservoir of a Kratky Hydroponic for Pak Choi (*Brassica rapa subsp chinensis*) Cultivation

Anri Kurniawan^{1*)}, Hanif Nur Fatih¹⁾, dan Hanis Adila Lestari¹⁾

^{1*)} Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama

^{*)} email korespondensi: anrykurniawan1991@gmail.com

ABSTRACT

The automated water and nutrient filling system in the Kratky hydroponic method for pak choi (*Brassica rapa subsp. chinensis*) is designed to control the reservoir's water level and nutrient concentration. An ultrasonic sensor measures the water surface height, while a TDS sensor monitors nutrient concentration. Both sensors are controlled by an Arduino Uno microcontroller, which manages the operation of the water and nutrient pumps. This study aimed to design and test the automated filling system. The research involved tool development, system testing, and data analysis through calibration using percentage error and Root Mean Square Error (RMSE) to evaluate the pump's performance. The results showed that the system functioned optimally: the water pump was activated when the water level ranged between 30 and 40 cm, and the nutrient pump operated when the ppm value fell below 600. The ultrasonic sensor had an error of 0.76%, and the TDS sensor 0.60%, both under 1%, indicating high accuracy. At 30 days after transplanting, the pak choi plants had an average height of 15.05 cm and a leaf width of 14.98 cm. The water pump performance under the automated filling system had an RMSE value of 7.5498, indicating good reliability.

Keywords: Automatic, Hydroponics, Kratky, Nutrient, Pakcoy.

ABSTRAK

Sistem pemberian air dan nutrisi otomatis pada hidroponik *Kratky* untuk tanaman *pakcoy* (*Brassica rapa subsp. chinensis*) berfungsi sebagai pengendali ketinggian air dan konsentrasi nutrisi dalam reservoir. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengukur permukaan air, sedangkan sensor TDS mendeteksi tingkat kepekatan nutrisi. Kedua sensor diatur oleh mikrokontroler *Arduino UNO* untuk mengoperasikan pompa air dan pompa nutrisi. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem kontrol otomatis tersebut. Proses dilakukan melalui tahap perancangan alat, pengujian sistem, serta analisis data menggunakan kalibrasi persentase *error* dan perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) guna menilai kinerja pompa air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bekerja secara optimal. Pompa air aktif saat tinggi muka air berada antara 30–40 cm, sementara pompa nutrisi menyala ketika nilai ppm turun hingga batas 600 ppm. Sensor ultrasonik memiliki tingkat error sebesar 0,76%, dan sensor TDS sebesar 0,60%; keduanya berada di bawah 1%, sehingga dikategorikan sangat akurat. Pada 30 HST, tanaman *pakcoy* menunjukkan tinggi rata-rata 15,05 cm dan lebar daun 14,98 cm. Kinerja pompa air dalam sistem otomatis memiliki nilai RMSE sebesar 7,5498, yang menunjukkan performa cukup baik.

Kata Kunci: Hidroponik, *Kratky*, Nutrisi, Otomatis, *Pakcoy*.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan kondisi alam yang memungkinkan membudidayakan berbagai jenis tanaman sayuran lebih banyak. Salah satunya yaitu tanaman sayuran *pakcoy* atau sawi sendok. Tanaman *pakcoy* (*Brassica rapa subsp. chinensis*) merupakan tanaman sayuran yang memiliki nilai ekonomi dan gizi yang tinggi (Prawira et al., 2023). *Pakcoy* dihargai mulai dari Rp. 10.00 sampai dengan Rp.15.000 per ikat baik di pasar tradisional atau *marketplace* secara *online* (Tama & Suprihati, 2020). Peran tanaman sayuran sangat penting sebagai sumber vitamin dan mineral yang dibutuhkan oleh tubuh. Kandungan gizi seperti beta-karotin yang tinggi, protein, lemak nabati, karbohidrat, serat, Ca, Mg, Fe, sodium, vitamin A dan vitamin C terdapat pada sayuran *pakcoy* (Praptodiyono et al., 2024).

Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia bahwa produksi sayuran sawi-sawian dalam lima tahun terakhir. Pada tahun 2020 sebesar 600.200 ton, 2021 sebesar 601.204 ton, 2022 sebesar 627.598 ton, 2023 sebesar 635.990 ton, dan tahun 2024 sebesar 652.727 ton mengalami peningkatan. (BPS, 2024). Kenaikan produksi sayuran sawi-sawian di Indonesia merupakan salah satu faktor pendorong kenaikan produksi. Budidaya tanaman sawi-sawian secara konvensional memiliki banyak kekurangan terhadap kualitas hasil panen. Daun sawi berlubang atau rusak akibat hama dan penyakit yang menyebabkan nilai jual menurun. Ketersediaan air dan pupuk yang tidak teratur menyebabkan pertumbuhan sawi-sawian terhambat (Baagdi et al., 2025). Salah satu metode budidaya tanaman yang dapat dilakukan dengan sistem hidroponik. Pertanian hidroponik jauh lebih unggul dari pertanian konvensional yang memiliki banyak kekurangan. Kualitas sayuran dari tanaman sistem hidroponik lebih mulus, warna daunnya tajam, rasanya renyah, dan bebas dari residu pestisida (Putri et al., 2022).

Upaya meningkatkan produksi sayuran *pakcoy* menggunakan sistem hidroponik. Sistem hidroponik memiliki banyak jenis

antara lain *substrat*, *deep flow technique* (DFT), *nutrient film technique* (NFT), sistem sumbu (*Wick*), *ebb & flow*, rakit apung (*floating hydroponic raft system*), metode *kratky* dan irigasi tetes (*drip irrigation*) (Lestari et al., 2023). Sistem hidroponik metode *kratky* merupakan sistem hidroponik yang memanfaatkan air dengan volume yang banyak dalam bak penampungan (*reservoir*). *Reservoir* akan menjadi tempat tumbuh dan berkembang tanaman memanfaatkan densitas *styrofoam* (Nursyahid et al., 2021). Metode *kratky* merupakan teknik budidaya tanaman dengan cara menancapkan atau menanamkan tanaman pada *netpot* yang menempel pada lubang *styrofoam* (Wanniachchi & Jayakody, 2022). Tanaman sayuran mengapung di atas permukaan *reservoir* yang berisi larutan nutrisi. Perbedaan dengan rakit apung, metode tidak menggunakan bantuan *aerator* dan pompa *venturi* untuk sirkulasi larutan nutrisi (Kurniawan & Lestari, 2020).

Air dalam *reservoir* hidroponik metode *kratky* harus diperhatikan baik dari kandungan nutrisi maupun ketinggian air. Ketika air kurang akibat proses penguapan akan mempengaruhi kandungan nutrisi pada *reservoir*. Berkurangnya volume air pada *reservoir* menyebabkan kadar pH di dalam air juga berubah sehingga berdampak pada tanaman dalam penyerapan nutrisi. Nutrisi yang tidak optimal akan menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat (Vega et al., 2024).

Teknik pengukuran pertumbuhan tanaman *pakcoy* pada sistem hidroponik yang dilakukan secara manual dan rutin kurang efisien. Perawatan intensif seperti pengukuran nutrisi, pergantian air, pembuatan pestisida harus dilakukan setiap harinya. Kekurangan dalam kontrol perawatan hidroponik dapat diatasi dengan teknologi sistem kontrol (Bakriansyah et al., 2023). Sensor ultrasonik digunakan sebagai pengukur ketinggian permukaan air dan sensor TDS (*total dissolved solid*) sebagai pengukur kepekatan larutan pada *reservoir* (Penjor et al., 2022). Sensor tersebut terhubung dengan mikrokontroler Arduino UNO yang menjadi otak pengoperasian kontrol otomatis (Kurniawan et

al., 2020). Permasalahan air nutrisi pada sistem hidroponik merupakan paling penting pertumbuhan tanaman sayuran, terutama sawi-sawian. Peningkatan produksi tanaman dan efisiensi nutrisi menjadi faktor utama dalam pengujian budidaya secara hidroponik (Khairani & Prawiroredjo, 2025). Penelitian dengan nilai data yang akurat dan presisi akan mampu membantu petani dalam prediksi pertumbuhan tanaman. Penggunaan pompa air dan pompa nutrisi dalam pengisian *reservoir* secara otomatis dapat meningkatkan produktivitas dan efisiensi air dan nutrisi (Purwalaksana et al., 2024).

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan terhadap beberapa jenis hidroponik (Fadil et al., 2023) dan (Zziwa et al., 2024). Penelitian belum ada yang mengimplementasikan antara level air untuk pompa otomatis (Ogbolumani & Mabaso, 2023) dan (Bilagi et al., 2023) seperti dengan pompa nutrisi ABMix (Anisa et al., 2023) dan (Gumisiriza et al., 2022) dalam satu kesatuan (Fitriyah et al., 2022). Penerapan teknologi pada budidaya *pakcoy* sistem hidroponik metode *kratky* dengan mengembangkan kontrol otomatis.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah 1. Merancang dan menguji coba sistem pemberian air nutrisi otomatis instalasi hidroponik metode *kratky* sayuran *pakcoy*. 2. Menganalisis pengaruh pemberian air nutrisi hidroponik metode *kratky* terhadap tinggi tanaman dan lebar daun *pakcoy*.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Alat penelitian terdiri dari peralatan hidroponik, elektronik, pengukuran dan pendukung seperti sumber listrik, perkakas dan kabel. Peralatan utama dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Peralatan Utama

No.	Alat	Jumlah
Peralatan Hidroponik		
1.	<i>Netpot</i>	36 buah
2.	<i>Rockwool</i>	1 <i>slab</i>
3.	Plastik UV	4 x 1 cm

4.	<i>Kalsiboard</i>	1 buah
5.	Reng Baja Ringan	2 <i>lente</i>
6.	Baja Ringan Kanal C	6 <i>lente</i>
7.	<i>Styrofoam</i>	

Peralatan Elektronik

8.	Arduino UNO R3	1
9.	Sensor Ultrasonik HC-SR04	1
10.	Sensor TDS Analog	1
11.	<i>Relay</i> 2 Channel	1
12.	LCD I2C	1
13.	Pompa	2

Alat Ukur

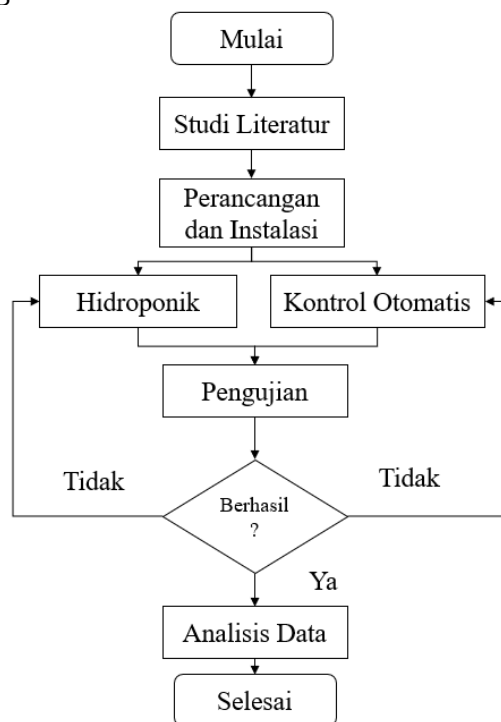
14.	Penggaris 30 cm	1
15.	Meteran 5 m	1
16.	TDS Meter	1
17.	pH Meter	1
18.	Gelas Takar 1 L	1

Bahan

Bahan digunakan pada penelitian adalah bibit *pakcoy* merek Nauli 25 gram, nutrisi ABMix 1 liter merek Hidroponik Surabaya, pestisida nabati dan air bersih.

Prosedur Penelitian

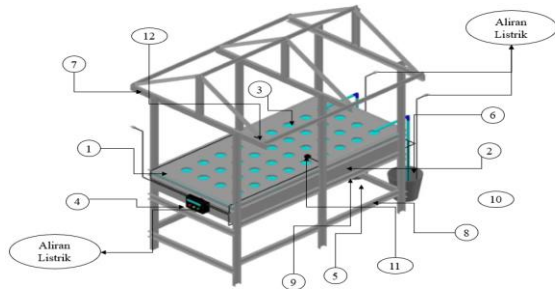
Prosedur penelitian terdiri dari studi literatur, perancangan hidroponik metode *kratky*, pengujian dan analisis data seperti pada diagram alir Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Perancangan Hidroponik

Perancangan dan pembuatan hidroponik metode *kratky* dimulai dari pembuatan *draft*, gambar kerja, persiapan alat dan bahan hingga instalasi (Himawan et al., 2024). Dimensi instalasi hidroponik adalah p x l x t sebesar 2 x 1 x 2,5 cm yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Instalasi Hidroponik Metode *Kratky*

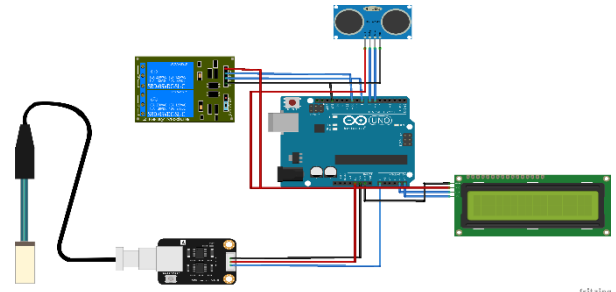
Keterangan:

1. Styrofoam, 2. Reservoir, 3. Netpot, 4. Kontrol Otomatis, 5. Pompa 1, 6. Pompa 2, 7. Atap UV, 8. Kerangka, 9. Ember Air, 10. Ember Nutrisi, 11. Sensor Ultrasonik, 12. Sensor TDS

Perancangan Kontrol Otomatis

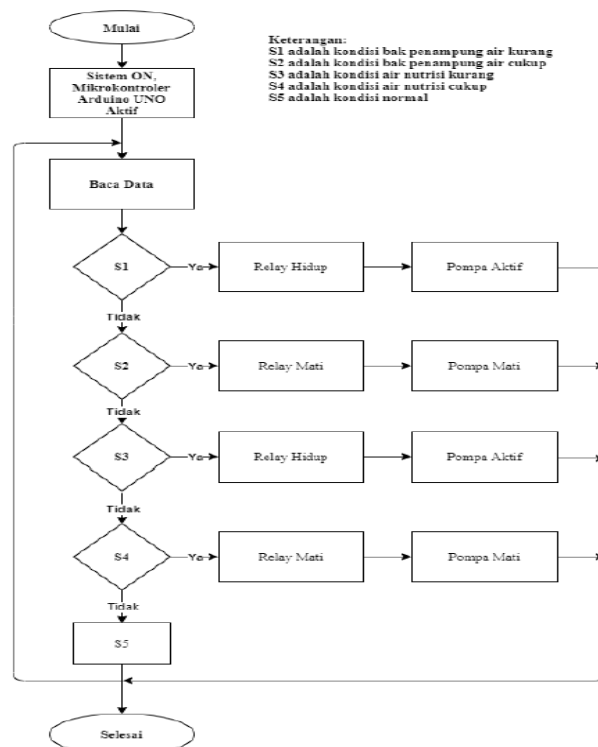
Rangkaian elektronika terdiri dari input berupa sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor

TDS analog. Sedangkan proses data menggunakan mikrokontroler Arduino UNO R3. Output terdiri dari LCD I2C dan relay 2 channel yang terhubung ke pompa 1 dan pompa 2. Pompa 1 adalah pompa untuk mengisi air bersih yang terhubung ke keran, sedangkan pompa 2 berada di ember nutrisi untuk disalurkan ke *reservoir*.



Gambar 3. Rangkaian Elektronik

Proses inisiasi rangkaian elektronik menggunakan Arduino IDE dengan sistem *coding* yang ditentukan. Logika kontrol tinggi air < ambang batas 30 cm akan menyalakan pompa. Tinggi air 40 cm air habis dan jika 0 cm tandanya air penuh. Sedangkan nilai TDS untuk menghidupkan pompa nutrisi adalah < dari ppm dengan catatan tinggi air penuh. (Prabowo et al., 2023) Logika kontrol pengisian air dan nutrisi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Logika Pemrogram Pengisian Air dan Nutrisi

Parameter Penelitian

Variabel pada penelitian dalam pengukuran parameter dalam menguji kontrol otomatis bekerja dengan baik seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Penelitian

No.	Parameter	Sensor	Alat Ukur	Satuan
1.	Tinggi muka air	Ultrasonik HC-SR04	Penggaris	cm
2.	TDS	TDS Analog	TDS Meter	ppm
3.	pH air	pH	pH Meter	Skala pH
4.	Tinggi Tanaman	-	Penggaris	cm
5.	Lebar Tanaman	-	Penggaris	cm

Analisis Data

Analisis data yang digunakan adalah metode statistik dengan menggunakan *analysis of varians* (ANOVA). Aplikasi yang digunakan adalah SPSS 16 menggunakan uji t antara blok A, blok B, blok C, blok D dan blok E.

Perhitungan keberhasilan kontrol sistem menggunakan % error antara sensor dengan alat ukur. Sedangkan untuk kinerja pompa dengan sistem kontrol diuji tingkat akurasi menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) seperti pada persamaan berikut ini.

Persamaan *error* tinggi muka air

$$\%Error_{Tinggi\ Muka\ Air} = \left| \frac{H_{sensor} - H_{penggaris}}{H_{penggaris}} \right| \times 100\%$$

Persamaan *error* nutrisi

$$\%Error_{Nutrisi} = \left| \frac{N_{sensor} - N_{TDS\ Meter}}{N_{TDS\ Meter}} \right| \times 100\%$$

Persamaan RSME pompa

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_{i,pompa} - t_{i,sensor})^2}$$

Nota *i* adalah waktu yang digunakan dalam satuan detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Instalasi Hidroponik Metode *Kratky*

Hidroponik metode *kratky* merupakan sistem budidaya tanaman tanpa tanah dengan sistem pasif atau statis, mirip dengan sistem sumbu (*wick*). Akar tanaman dibiarkan menggantung pada di atas larutan nutrisi dengan jarak tertentu. Komponen terdiri dari baja ringan kanal C, reng baja ringan, plastik UV, skrup dan klem. Hidroponik tidak memerlukan aerator ataupun pompa *venturi* untuk sirkulasi udara dan oksigen karena tersedia pada pangkal akar. Rancangan sistem *kratky* dimodifikasi agar reservoir dapat mengisi ulang air dan nutrisi secara otomatis saat volume air berkurang akibat penguapan dan penyerapan oleh tanaman. Sistem otomatis bertujuan untuk menjaga tinggi muka air dan nilai TDS untuk budidaya tanaman *pakcoy* selama pertumbuhan.



Gambar 6. Hidroponik Metode *Kratky*

Keterangan:

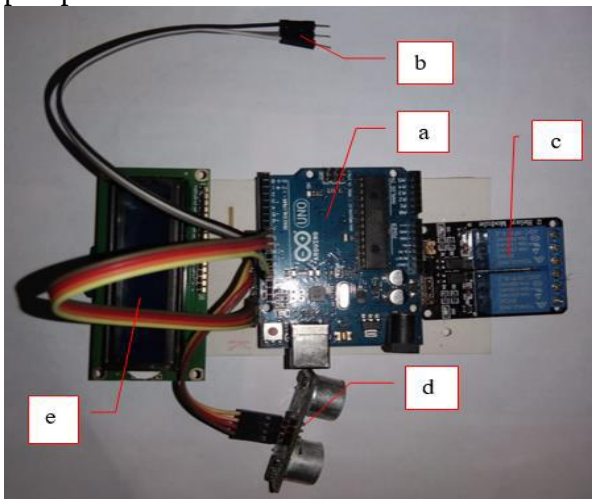
a. Plastik UV, b. Tiang, c. *Styrofoam*, d. *Netpot*, e. Klem, f. Colokan, g. Atap, h. Palang, i. Alat ukur tinggi, j. Papan dasar, k. Penahan, l. Penahan samping, m. Pipa pompa air, n. Pipa pompa nutrisi.

Reservoir menggunakan *kalsiboard* yang dilapisi plastik untuk mencegah pertumbuhan lumut. Selain itu ada ember wadah air bersih yang terhubung ke sumber air yang berfungsi untuk mengalirkan air melalui pipa PVC ½ inci. Sedangkan ember air nutrisi yang sudah dicampurkan dengan air antar nutrisi A dan B sebelumnya sesuai dosis 2500 ppm disalurkan melalui pipa PVC ¼ inci. Ketinggian tinggi muka air dijaga pada kondisi 40 cm, jika ketinggian mencapai kurang dari 30 cm pompa air akan menyala sebagai pengisian otomatis. Sistem ini merupakan

konsep otomatisasi pengisian air dan nutrisi untuk meningkat efisiensi air dan nutrisi pada budidaya *pakcoy*.

Sistem Pengisian Air dan Nutrisi Otomatis

Sistem pengisian air dan nutrisi secara otomatis terdiri dari komponen *input*, proses dan *output*. *Input* terdiri sensor ultrasonik HC-SRp4 untuk mengukur tinggi muka air larutan, sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) untuk mengetahui konsentrasi nutrisi AB mix. Proses menggunakan mikrokontroler Arduino UNO R3. Sedangkan *ouput* terdiri dari LCD I2C dan *Relay 2 channel*. Semua rangkaian terhubung ke saluran listrik PLN dengan colokan sambung yaitu pada Arduino UNO, *relay* dan pompa.



Gambar 7. Rangkaian Elektronik

Keterangan:

a. Arduino UNO R3, b. Sensor TDS, c. Relay 2 Channel, d. Sensor Ultrasonik HC-SR04, e. LCD I2C

Logika kerja dimulai dengan pembacaan data sensor ultrasonik, jika ketinggian air terbaca menunjukkan larutan berkurang atau kurang dari 30 cm akan menghidupkan pompa sampai batas normal 40 cm. Setelah air terisi dan ketinggian air normal, sistem akan membaca nilai TDS. Jika terdeteksi nilai kurang dari batas bawah akan pengenceran, maka pompa nutrisi akan menyala hingga mencapai konsentrasi yang diinginkan. Konsentrasi pada pertumbuhan *pakcoy* berbeda, pada awal tanam di *setting* 500 ppm, pada 8 HST ditingkatkan menjadi 700 ppm. Secara terus menerus pada 15 HST adalah 900 ppm, sedangkan 22 HST pada 1000 ppm. Pada kondisi di atas 30 HST

dipertahankan agar nutrisi terus berada pada 1200 ppm.

Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan sistem pemberian air dan nutrisi otomatis bekerja dengan baik. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan antara perhitungan sensor dengan alat ukur sebagai pembanding dengan satuan % *error*. Kalibrasi tinggi muka air ditampilkan pada Tabel 3 dan nilai TDS pada Tabel 4.

Tabel 3. Kalibrasi Tinggi Muka Air

No.	Penggaris (cm)	Sensor Ultrasonik (cm)	% Error
1	2,01	2,00	0,50
2	5,55	5,60	0,90
3	10,48	10,50	0,19
4	15,12	15,20	0,53
5	20,20	20,30	0,50
6	25,30	25,50	0,79
7	30,00	30,26	0,87
8	35,42	35,40	0,06
9	40,02	40,00	0,05

Berdasarkan perhitungan dari Tabel 3 menunjukkan jika rata-rata % *error* adalah 0,76% yang menunjukkan secara keseluruhan kurang dari 1%. Sehingga sistem pemberian air dan nutrisi otomatis cukup akurat untuk diimplementasikan pada hidroponik metode *kratky*. Hasil juga diperkuat dengan nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0,084 cm, simpanan baku *error* 0,084 cm dan *Root Mean Square Error* (RSME) adalah 0.119 cm. Hasil kecil menunjukkan bahwa pembacaan sensor memiliki keandalan yang tinggi.

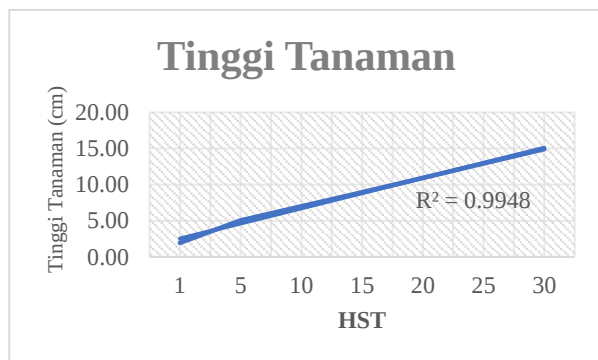
Tabel 4. Kalibrasi Nilai TDS

No	TDS Meter (cm)	Sensor TDS (cm)	% Error
1	102	103	0,98
2	131	130	0,76
3	226	224	0,88
4	375	372	0,80
5	490	492	0,41
6	559	559	0,00
7	658	664	0,91
8	880	876	0,45
9	1001	999	0,20

Berdasarkan Tabel 4. dihasilkan % *error* sebesar 0,60% dan kurang dari 1% menunjukkan sangat kecil dan sistem bekerja dengan baik. Sedangkan nilai MAE sebesar 3.6 ppm, simpanan baku 2.8 – 3.4 ppm dan RSME memiliki nilai 4.0-4.5 menunjukkan nilai sangat kecil. Hasil kecil menunjukkan bahwa pembacaan sensor memiliki keandalan yang tinggi.

Tinggi Tanaman

Pengujian keberhasilan sistem pemberian air dan nutrisi otomatis pada hidroponik kratky dapat dilihat dari pertumbuhan tinggi tanaman. Grafik tinggi tanaman dengan kontrol otomatis dapat dilihat pada Gambar 8.

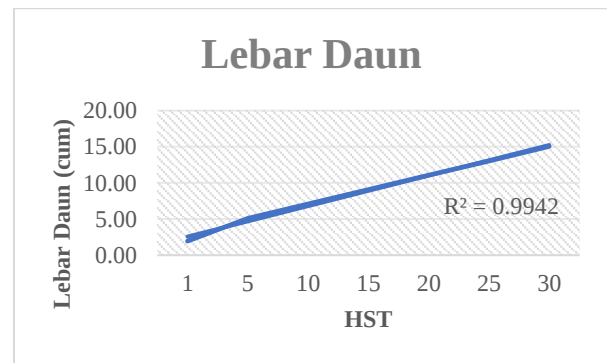


Gambar 8. Grafik Tinggi Tanaman Pakcoy

Berdasarkan grafik pada Gambar 8 menunjukkan pada tinggi tanaman pada 30 HST mencapai 15.05 cm. Hal ini cukup bagus mengingat tinggi tanaman *pakcoy* berdasarkan referensi adalah 15-20 cm. Jika *pakcoy* ditanam sampai 35 HST bisa mencapai 20 cm. Namun pertumbuhan tanaman juga memiliki faktor lain yang berpengaruh selain pada nutrisi seperti suhu dan kelembaban udara serta intensitas cahaya matahari.

Lebar Daun

Pengujian keberhasilan budidaya tanaman *pakcoy* secara hidroponik dihitung berdasarkan lebar daun (cm). Lebar daun menjadi ciri keberhasilan tanaman *pakcoy* yang memiliki daun yang lebar dibandingkan jenis sawi yang lain. Grafik peningkatan lebar daun dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Lebar Daun Tanaman Pakcoy

Berdasarkan grafik pada Gambar 9 menunjukkan bahwa lebar daun tanaman *pakcoy* 30 HST mencapai 14,98 cm. Lebar daun individu *pakcoy* rata-rata mencapai 15 cm bahkan bisa lebih lebar mencapai 30 cm jika terus dibudidayakan. Namun lebar daun dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari menjadi faktor penentu perkembangan lebar daun.

Performa Pompa Air dan Nutrisi

Performa pompa air dan pompa nutrisi dalam mengalirkan air dan nutrisi dihitung dengan metode *delay*. *Delay* dihitung dari status pompa pada LCD dan nyala lampu relay dengan hidupnya pompa. Data *delay* digunakan untuk pembandingan dalam mendapatkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. *Delay* Pompa Air dan Nutrisi

No	Waktu Awal y' (s)	Waktu Pompa Hidup y (s)	<i>Delay</i> (s) $y - y'$	$(y - y')^2$
1	2	8	6	36
2	4	11	7	49
3	1	8	7	49
4	2	10	8	64
5	3	11	8	64
6	5	14	9	81
7	4	11	7	49
8	2	10	8	64
9	1	8	7	49

Berdasarkan dari Tabel 4 disimpulkan bawa rata-rata *delay* pompa air dan pompa nutrisi adalah 7,5 detik. Berdasarkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) didapatkan nilai

7,5498 yang kecil, sehingga masih dalam waktu kewajaran.

KESIMPULAN

Sistem pemberian air dan nutrisi otomatis pada *reservoir* hidroponik *Kratky* untuk budidaya tanaman *pakcoy* cukup optimal. Pompa air bekerja pada saat tinggi muka air 30 cm sampai batas 40 cm, pompa nutrisi akan bekerja jika nilai ppm mencapai ambang batas 600 ppm. Pembacaan sensor ultrasonik memiliki *error* 0,76%, sedangkan sensor TDS 0,60% kurang dari 1% dapat dikatakan sangat akurat. Tinggi tanaman *pakcoy* pada 30 HST memiliki tinggi tanaman 15,05 cm dengan lebar daun 14,98 cm. Performa pompa pada saat sistem otomatis hanya memiliki nilai RMSE 7,5498 yang cukup kecil yang menunjukkan nilai yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kemenristekdikti pada Penelitian Dosen Pemula 2021 yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anisa, N., Marta Saputra, H., Aini, S. N., & Zasari, M. (2023). Effect of Static Hydroponic and Huett's Lettuce Concentration Levels on Growth and Yield of Lettuce. *Enviagro, Jurnal Pertanian Dan Lingkungan*, 9(2), 1–41.
- Baagdi, P., Vishal Dahiya, P., & Dave, M. (2025). Reviewing the Impact of Machine Learning and IoT on Hydroponic Yield and Resource Efficiency. *TIJER-International Research Journal*, 12(3), 795–798. www.tijer.org
- Bakriansyah, A. H., Daud, M., Taufiq, T., & Asran, A. (2023). Prototype of Automatic Monitoring and Control System for Water Supply, Acidity, and Nutrition in Internet of Things Based DFT Hydroponics. *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(2), 339–350.
- Bilagi, N., Hegde, N. M., Karande, K., Naik, D. K., & Suvarna, H. (2023). A review on Automation in Hydroponics. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 10(05), 291–296. www.irjet.net
- Fadil, M., Ahmad Munir, & Muhammad Tahir Sapsal. (2023). On-Off Water Level Control and IoT Monitoring for Aquaponics Systems. *Salaga Journal*, 2(2), 90–100. <https://doi.org/10.70124/salaga.v1i2.1355>
- Fitriyah, H., Budi, A. S., Maulana, R., & Setiawan, E. (2022). Controlling the Nutrition Water Level in the Non-Circulating Hydroponics based on the Top Projected Canopy Area. *IJCCS (Indonesian Journal of Computing and Cybernetics Systems)*, 16(2), 181. <https://doi.org/10.22146/ijccs.70556>
- Gumisiriza, M. S., Ndakidemi, P., Nalunga, A., & Mbega, E. R. (2022). Building sustainable societies through vertical soilless farming: A cost-effectiveness analysis on a small-scale non-greenhouse hydroponic system. *Sustainable Cities and Society*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103923>
- Himawan, A., Putra, W. H. N., & Setiawan, E. (2024). RAFT: An IoT-Based Nutrition Monitoring System for Bok Choy Hydroponics Plants. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 8(2), 258–264. <https://doi.org/10.29207/resti.v8i2.5560>
- Khairani, I., & Prawioredjo, K. (2025). Rancang Bangun Sistem Hidroponik Otomatis Berbasis Internet of Things. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v14i1.13032>

- Kurniawan, A., & Lestari, H. A. (2020). Control System of Nutrient in Floating Hydroponic System for Water Spinach (*Ipomea reptans*) Using Telegram-Based IoT. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(4), 326–335. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v9.i4.326-335>
- Kurniawan, A., Saputra, T. W., & Ramadan, A. (2020). Automatic Rain Pipe Fertigation System At Main Nursery Of Palm Oil (*Elaeis guineensis* Jacq) WITH Microcontroller Arduino UNO. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(3), 184–190. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v9.i3.184-190>
- Lestari, H. A., Kurniawan, A., & Yuwono, T. A. (2023). Otomatisasi Ultrasonik Fogger Budidaya Selada Keriting Hijau Secara Fogponik di Pertanian Indoor berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 23(2), 111–117. <https://doi.org/10.25047/jii.v23i2.3616>
- Nursyahid, A., Setyawan, T. A., Sa'diyah, K., Wardihani, E. D., Helmy, H., & Hasan, A. (2021). Analysis of Deep-Water Culture (DWC) hydroponic nutrient solution level control systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1108(1), 012032. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1108/1/012032>
- Ogbolumani, O. A., & Mabaso, B. (2023). An IoT-Based Hydroponic Monitoring and Control System for Sustainable Food Production. *Ogbolumani & Mabaso*, 4(2), 106–140.
- Penjor, T., Dorji, L., Wangmo, D., Yangzom, K., & Wangchuk, T. (2022). Automation of Hydroponics System using Open-source Hardware and Software with Remote Monitoring and Control. *Bhutanese Journal of Agriculture*, 5(1), 95–108. <https://doi.org/10.55925/btagr.22.5108>
- Prabowo, M. C. A., Janitra, A. A., & Wibowo, N. M. (2023). Sistem Monitoring Hidroponik Berbasis IoT Dengan Sensor Suhu, pH, dan Ketinggian Air Menggunakan ESP8266. *Technoscienza*, 7(2), 313–323. <https://doi.org/https://doi.org/10.51158/tecnoscienza.v7i2.894>
- Praptodiyono, S., Saraswati, I., & Kusuma, S. T. (2024). Design of automatic control system on pakcoy plant parameters in nutrient film technique hydroponic media. *TEKNIKA: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 20(01), 86–92. <https://doi.org/10.62870/tjst.v20i1.23142>
- Prawira, F. A., Priyandoko, G., & Siswanto, D. (2023). Smart Hidroponik Sistem Rakit Apung Mengontrol pH (Potential Hydrogen) Tanaman Pakcoy Secara Otomatis. *Jurnal Teknologi Elektro*, 14(03), 166. <https://doi.org/10.22441/jte2023.v14i3.007>
- Purwalaksana, A. Z., Wahyu, S., Ndari, W. E. W., Syah, S. A., Rismawati, E., Kusumadjadi, A., & Suharmanto, P. (2024). IoT System for Floating Raft Hydroponics: Nutrient Monitoring and Automation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2866(1), 1. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2866/1/012042>
- Putri, N. C., Nyayu, N. S. K., & Saputra, H. M. (2022). Substitusi Hara Mikro Formulasi Huett's Lettuce Terhadap Pertumbuhan Selada (*Lactuca sativa* L.) di Dua Sistem Hidroponik Statis. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 13(3), 128–132. <https://doi.org/10.29244/jhi.13.3.128-132>
- Tama, A. W., & Suprihati. (2020). Making Alternative Fertilizer For Cultivating Bok Choy (*Brassica Rapa* Subsp. *Chinensis*) With Floating Raft Hydroponic System. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(3), 163–170. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v9i3.162-170>

- Vega, I., Garay-Rodriguez, G., Lee, B., Moses, C., Mock, V., Almanza, E., Carni, M., Durocher, S., Jacobs, J. M., Kaczmar, N. S., Mattson, N., Soledad Benitez Ponce, M., & Heiden, N. (2024). Unoxygenated Kratky systems are a viable alternative to active deep water culture approaches. *AgriRxiv*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31220/agriRxiv.2024.00272>
- Wanniachchi, L. R., & Jayakody, A. (2022). Sustainable Farming in Soilless Culture Non-Circulating Kratky Method Using Fuzzy Logic Control and Measure Greenness. *Iconic Research and Engineering Journal*, 5(7), 13–18.
- Zziwa, A., Wanyama, J., Matsapwe, D., Kizito, S. S., Mibulo, T., & Baidhe, E. (2024). Automation and control system implementation in a smallholder crop production in Uganda: A review. *Advances in Modern Agriculture*, 5(2), 2406. <https://doi.org/10.54517/ama.v5i2.2406>